

„Alapvető kölcsönhatások és egzotikus magállapotok vizsgálata lézerekkel és részecske nyalábokkal” című

K72566 számú OTKA pályázat szakmai zárójelentése

A zárójelentés a fenti témákban elért eredmények rövid bemutatását tartalmazza. Zárójelben az altémákhoz kapcsolódó legfontosabb publikációk sorszámaait tüntettük fel. A témához kapcsolódó 56 publikáció tartalmazza a következő disszertációkat is, amik a jelen OTKA pályázat támogatásával jöttek létre:

1. Tímár János: *Egzotikus mozgásformák forgó atommagokban. MTA doktori értekezés. (2010).*
2. Csige Lóránt: *Egzotikus atommagok kísérleti vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés, Témavezető: Krasznahorkay Attila, MTA ATOMKI (2009).*
3. Tornyai Tamás: *Hiperdeformált állapotokból származó hasadási termékek tömegeloszlásának vizsgálata, TDK dolgozat, Témavezető: Krasznahorkay Attila, MTA ATOMKI (2008).*
4. Tornyai Tamás: *Kistömegű semleges részecske keresése atommag-átmenetekben. Diplomamunka, Témavezető: Krasznahorkay Attila, MTA ATOMKI (2008).*
5. Kuti István: *Királis állapotok keresése a ^{132}La atommagban, TDK dolgozat, Témavezető: Kunné Sohler Dóra és Tímár János, MTA ATOMKI (2008).*
6. Kuti István: *A ^{132}La atommag forgási sávjainak in-beam gamma-spektroszkópiai vizsgálata. Diplomamunka, Témavezető: Kunné Sohler Dóra és Tímár János, (2009).*
7. Stuhl László: *Spin-izospin óriásrezonanciák vizsgálata Sc izotópokban, TDK dolgozat, Témavezető: Krasznahorkay Attila, MTA ATOMKI (2009).*
8. Stuhl László: *Egy könnyű, semleges bozon kimutatási kísérlete a ^8Be elektromágneses legerjesztődése során. Diplomamunka, Témavezető: Krasznahorkay Attila, MTA ATOMKI (2010).*

1. Erősen deformált atommagok fizikája [20,21,23,24,27,30,32,33,37,41,44,51,52]

Az egzotikus magalakok vizsgálata, különösen pedig a hiperdeformált (HD) állapotok keresése, az elmúlt évtized kiemelt kutatási iránya volt. Korábban, az ^{234}U és ^{236}U hasadási rezonanciáinak vizsgálata során, elsőként sikerült ilyen rotációs sávokat kimutatnunk. Ez indította el a maghasadásra és a hasadás előtti csomósodás tanulmányozására vonatkozó jelen vizsgálatainkat. Az erősen deformált (szuper- és hiperdeformált) állapotokra kapott legújabb eredményeinkről nemrég áttekintést készítettem a *Handbook of Nuclear Chemistry* 2. kiadása számára [44].

A jelen kísérleteink egy részét Münchenben, a Ludwig-Maximilian Egyetem tandem Van de Graaff gyorsítója és Q3D mágneses spektrométere segítségével végeztük. A hasadási rezonanciákat radioaktív ^{231}Pa céltárgyakat felhasználva a $^{231}\text{Pa}(^3\text{He},\text{df})^{232}\text{U}$ illetve $^{231}\text{Pa}(\text{d},\text{pf})^{232}\text{Pa}$ reakciók segítségével tanulmányoztuk.

Az ^{232}U hasadási rezonanciáit a $E^* = 4.0 - 6.5$ MeV gerjesztési energiatartományban jó energia feloldással ($\Delta E = 11$ keV) tanulmányoztuk. Számos éles rezonanciát figyeltünk meg, s finomszerkezetüket rotációs sávokkal írtuk le, azonos rotációs paramétert feltételezve. Az illesztett sávok χ^2 analízise alapján a rotációs paraméter értéke $\hbar^2/2\Theta = 1.96$ (11) keV-nek adódott. Ez az érték jól egyezik a ^{234}U és a ^{236}U esetén korábban meghatározott rotációs

paraméter értékeinkkel, melyek a hiperdeformált állapotokra jellemzőek. A vizsgált gerjesztési energiatartomány lehetővé tette, hogy a kísérleti adataink alapján leírjuk a potenciál alakját a kvadrupól deformációs paraméter függvényében. Ily módon meghatároztuk a gátak magasságát, a második és a harmadik völgy mélységét. A hasadási gát különleges szerkezete lehetővé tette az 5 MeV gerjesztési energia környékén megfigyelt éles, jól elkülöníthető hasadási rezonanciák Bohr féle „átmeneti állapotokként” történő első értelmezését is. Ezek az átmeneti állapotok a közbülső gát tetejére épülnek, ami jóval alacsonyabb a külső gátnál. A hasadási valószínűség ebben az energiatartományban (5 – 5.5 MeV) még mindig elég kicsi ($< 10\%$), és a részecskebomlás sem megengedett. Ezzel magyarázható, hogy az átmeneti állapotoknak megfelelő rezonanciák élesek maradtak.

A páratlan-páratlan ^{232}Pa hasadási rezonanciáit a $E^*=5.65 - 6.20$ MeV gerjesztési energiatartományban nagyon jó energia-feloldással ($\Delta E=5.5$ keV) tanulmányoztuk. A megfigyelt hasadási rezonanciákat szintén HD rotációs sávokként értelmeztük. A sávokra meghatározott rotációs paraméter ($\hbar^2/2\theta = 2.10$ (15)) jól egyezik a HD rotációs sávokra korábban meghatározott értékekkel. A hasadási potenciál paramétereinek meghatározásához a kísérletileg kapott hasadási valószínűségeket összehasonlítottuk a TALYS 1.2 programmal számoltakkal. A potenciál 3. völgyének mélységét a $J=4$ állapotok sűrűsége alapján határoztuk meg: $E_{\text{III}}= 5.05+0.4-0.10$ MeV.

A legutóbb Debrecenben végzett kísérletünkben a gerjesztési energia függvényében egyidejűleg mértük a hasadványok szög- és tömegeloszlását. A mérési eredményeink segítségével a maghasadás előtti csomósodási jelenségekre illetve a hasadási potenciál legkülső részére (nyeregpontról a szétválási pontig) szeretnénk információkat szerezni.

Erre a célra felújítottunk Debrecenben egy nagy hatásfokú ($\approx 4\pi$), helyzet-érzékeny detektorokból álló repülési idő (ToF) spektrométert (OBELISK), amely korábban γ indukált hasadás vizsgálatára készült. A detektorok céltárgytól mért átlagos távolsága 12,4 cm. A spektrométer lehetőséget ad a hasadványok becsapódási szögének $<1^\circ$ pontosságú, tömegének pedig ≈ 5 amu pontosságú mérésére [<http://www.atomki.hu/muszerek/muszerek.html>].

Az első vizsgált atommagot, az ^{236}U -ot, a debreceni izokron ciklotron deuteronnyalábjával $^{235}\text{U}(d,pf)$ reakcióban gerjesztettük. A kilépő protonok energiáját 4 db nagyfelbontású ($\Delta E= 13$ keV) Si detektorral mértük, amik a startjelet is szolgáltatják a ToF-mérésekhez. A kísérleti adatok feldolgozása, a hasadványok szög- és tömegeloszlásának meghatározása a gerjesztési energia függvényében jelenleg folyamatban van. Az egzotikus, neutron-gazdag atommagok hasadásának tanulmányozását távlatilag a GSI-ben a FAIR gyorsító mellett, illetve az ELI-NP projectben is tervezzük.

A maghasadás előtti csomósodás vizsgálatát a dubnai Magproblémák Laboratóriumának hármas hasadási eseményeket vizsgáló csoportjával közösen Debrecenben, a ciklotron laboratórium szórókamrájának és nagy intenzitású deutérium nyalábjának segítségével végeztük. Erre a célra kifejlesztett speciális spektrométert használtunk, amely a kettős energia és a kettős sebesség mérési módszerének egyidejű alkalmazását tette lehetővé. A ^{234}Pa atommag igazi hármas hasadására vonatkozó első kísérleti eredményeinket publikáltuk. A legkönnyebb hasadási termék tömege 20-40 amu volt.

Vizsgáltuk még az ^{230}U és ^{232}U atommagok elektromos dipólus-momentumait, és ezzel az atommagok tetraéderes szimmetriájú, piramisszerű alakjára nyertünk adatokat.

2. Nagyspinű állapotok tanulmányozása: kiralitás az atommagokban, sávlezáródások [8,10,11,12,36,40,43,49,53,54,55]

Az altémán belül elsősorban olyan témák vizsgálatával foglalkoztunk, amelyek valamilyen értelemben egzotikusnak számító magállapotok tanulmányozására irányulnak. Ennek érdekében γ -spektroszkópiái, illetve részecske- és γ -spektroszkópiái módszereket kombináló kísérleteket végeztünk nagy nemzetközi együttműködések keretében. Ezekben jelentős szerepet kaptak a DIAMANT töltött részecske-detektorrendszert, illetve egyéb, részecske- γ koincidencia technikát alkalmazó mérések.

Az általunk vizsgált legfontosabb témakörök (extrém izospinű atommagok, triaxiális (háromtengelyű) atommagok, extrém magdeformációk, neutron-gazdag atommagok) napjainkban a legaktívabban tanulmányozott magszerkezeti problémák közé tartoznak, és várhatóan a jövőben is azok közé tartoznak majd.

Az atommag háromtengelyűségével kapcsolatos vizsgálataink két fő irányban történtek. Vizsgáltuk a háromtengelyűen deformált atommagok lehetséges királis forgását és a forgási sávok lezáródását az EUROBALL és a GAMMASPHERE detektorrendszerekkel. Korábban kimutattuk, hogy az $A=105$ körüli királis-jelölt atommagok egy királis szigetet alkotnak a magtérképen. Ennek feltérképeztük a méretét és megállapítottuk, hogy a páratlan atommagok is királisak lehetnek. Ezen téma folytatásaként a jelen programban vizsgáltuk a ^{106}Ag atommag törzsének megfelelő ^{104}Pd atommag forgási sávjait. Emellett nívóéletidő-méréseket végeztünk a $^{103,104}\text{Rh}$ királis-jelölt sávjaira. Új királis-jelölt sáv szerkezetet azonosítottunk a ^{134}Pr atommagban, amelyben ezen kívül számos új forgási sávot találtunk. A ^{132}La atommagban pedig tisztáztuk egy korábban királis-jelöltnek tekintett forgási sáv nem-királis jellegét. „Hirtelen” sávlezáródásokat azonosítottunk a ^{123}I és a ^{120}Te atommagokban, ahol elméleti számítások mind a „hirtelen”, mind a „folyamatos” típusú sávlezáródás lehetőségét előre jelezték.

Az extrém magdeformációk vizsgálatát szintén folytattuk az EUROBALL és a GAMMASPHERE detektorrendszerekkel. A ^{190}Hg atommag szuperdeformált (SD) állapotai tanulmányozásával kimutattuk, hogy az alacsonyabb Coulomb-gát és teljes kötési energia ellenére a két-proton szeparációs energiák az SD állapotokban nagyobbak, mint a normáldeformált (ND) állapotokban. A nagyspinű hiperdeformált (HD) állapotok kimutatását kíséreltük meg a kvázi-folytonos gammák vizsgálatára kifejlesztett RPM (Rotational Plane Mapping) módszerrel. Az így meghatározott tehetetlenségi nyomatékok négy atommagban utalnak HD állapotok léteire a töltött részecske reakciócsatornák adataiban.

A ^{155}Gd forgási sávjait vizsgáltuk a JUROGAM (Jyväskylä) detektorrendszerrel. Kimutattuk, hogy az $N=90$ atommagok első 0^+ állapotai nem beta-vibrációs jellegűek, hanem egy „második vákuum” állapotnak tekinthetők. Ezen állapotok a kvadrupól párkölcsönhatás és az „oblate” pályák kis sűrűsége következtében állnak elő.

Kiemelkedő eredménynek tekinthető, hogy elsőként sikerült izoskalár ($T=0$) típusú proton-neutron párkölcsönhatás, illetve ily módon csatolódnak nukleonpárokból összeálló pn-kvartett állapotok léteire utaló kísérleti adatokat kapni. A kísérletet nemzetközi együttműködés keretében, a GANIL-ban végeztük az EXOGAM + NeutronWall + DIAMANT detektorok alkalmazásával. A három együttesen alkalmazott detektorrendszer lehetővé tette az igen kis hatáskeresztmetszettel előálló ^{92}Pd atommagok legerjesztődésekor keletkező gamma-átmenetek azonosítását. A DIAMANT [<http://www.atomki.hu/muszerek/muszerek.html>] a töltött részecske emittálással járó reakciócsatornák elnyomására, a NeutronWall pedig a $2n$ -reakciócsatornák kiemelésére szolgált. A mérési adatok megerősítik azt az elméleti jóslást, mely szerint ebben az $N=Z$ atommagban az azonos,

nagy impulzuszmomentumú egyrészecske pályákon lévő valencia-protonok és -neutronok azonos spinbeállással pn-párokká csatolódnak. Eredményünket a *NATURE* folyóirat közölte.

3. A ^{239}Pu reaktor-hőjének pontos meghatározása: az ellentmondások kiküszöbölése a 4–3000 s hűlési periódusban [2,3,16,17,18,29,38,39]

Egy működő atomreaktor szabályos üzemeltetése során felszabaduló energia ~10%-a a hasadási termékek β -bomlásából származik. Ez, az általánosan "reaktor-hőnek" nevezett energiaforrás a reaktor leállítását követően meghatározóvá válik.

Az atomreaktorok tervezése és működése, valamint a radioaktív hulladék kezelése és megsemmisítése szempontjából a reaktor-hő megfelelő becslése nagyon fontos tényező. A reaktor-hő meghatározásának egyik első módszere Way és Wigner statisztikus megfontolásain alapul (Phys. Rev. 73, 1318(1948)).

Napjainkban a reaktor-hő számolására a legelterjedtebb módszer, az úgynevezett energia-összegző számolások módszere. A reaktor-hő a reaktor leállításától eltelt idő függvényében változik, ezért a következőképpen számolják: a hasadási termékek (a hasadási folyamatban valamint a reaktor leállítása után keletkezett) aktivitását (bomlás/másodperc) megszorozzák a β -bomlás során felszabaduló energiával, majd összegzik azt a különböző hasadási termékekre. Ezen módszer pontossága természetesen a rendelkezésre álló magadatok pontosságától függ.

Az összegzési számolásokhoz használt magadatokban lévő bizonytalanságok a reaktorok tervezésekor túlzott biztonsági ráhagyást eredményeznek. A bomlási energiák pontos ismerete éppen ezért jelentős. Legújabb cikkünkben először egyesítettünk három módszert a ^{239}Pu fűtőanyag bomlási hőjét meghatározó fontos hasadványok β -bomlásának tanulmányozására. A következő módszereket alkalmaztuk: 1) teljes γ -abszorpció, amely egy olyan detektálási módszer, ami az úgynevezett Pandemonium szisztematikus hibától mentes β -bomlási adatokat biztosít, 2) az IGISOL technika segítségével nyertük azokat a magas olvadáspontú elemeket, amelyek hagyományos ion-forrásokkal nem állíthatók elő, 3) végül a JYFLTRAP Penning-csapda szolgált tömegszeparátorként a nagy-tisztaságú radioaktív nyaláb előállítására. Ennek a három módszernek az együttes alkalmazása tette lehetővé a ^{239}Pu fűtőanyag kísérleti és elméleti reaktor-hője között régóta fennálló ellentmondás feloldását. Az atomreaktorokban termelt teljes energia közel 30-40 %-a ^{239}Pu -tól származik.

4. Óriásrezonanciák [19,22,26,28,45,46,47,48]

Az irodalomban először vizsgáltuk az izoskalár dipólus óriásrezonancia (ISGDR) direkt proton- és neutron-kibocsátással történő bomlását. Magasabb gerjesztési energiákon a fenti dipólus óriásrezonancián kívül egy új, szélesebb rezonanciaszerkezetet is megfigyeltünk. A szögeloszlás-adatok alapján az új rezonancia kvadrupólus jellegűnek adódott. Becslések szerint ez a rezonancia a kvadrupólus óriásrezonancia első felharmonikus módusa lehet.

Új, nagy energiafelbontású módszert használtunk a $^{40,42,44,48}\text{Sc}$ izotópok alacsony-energiás spin-dipólus gerjesztéseinek feltérképezésére. Az állapotok gerjesztésére közepes energiás (420 MeV) ($^3\text{He}, t$) magreakciót használtunk, és a jó energiafelbontás (20 keV) lehetővé tette, a diszkrét magállapotok szögeloszlásának analízisével, a fenti erősségeloszlások pontos

meghatározását. Az irodalomban először figyeltünk meg periodikus, kisenergiás spin-vibrációs sávot a 4 – 10 MeV gerjesztési-energiatartományban. 10 MeV-es gerjesztési energia körül mindegyik izotópban megfigyeltünk egy erős csúcsot. A 10 MeV alatti periodikus szerkezet is jelen van minden izotópban, de a legmarkánsabban a ^{40}Ca esetén jelent meg. Ezek az eredmények azt sugallják, hogy a megfigyelt szerkezetet valószínűleg a ^{40}Ca törzsgerjesztései okozhatják. Az eredmények értelmezésére RPA (Random Phase Approximation) számításokat végeztünk, de azok nem tudták reprodukálni a kísérleti adatainkat. Ez azt jelenti, hogy az RPA számításokban használt részecske-lyuk modellnél bonyolultabb szerkezetekkel van dolgunk. A ^{40}Ca esetén nagyszámú 0^+ állapotot figyeltük meg, amiket sokrészecske-soklyuk konfigurációkként értelmeztük. Az alacsonyan fekvő 0^+ állapotok ráadásul az általunk a dipólus erősségekben megfigyelt periodikus szerkezetet mutatják. Ha a ^{40}Sc alap-multiplettjének legerősebben gerjesztődő tagját (2^-) ezekhez a 0^+ állapotokhoz csatoljuk, akkor a dipólus erősségében megfigyelt periodikus szerkezetet reprodukálni tudjuk.

Az anti-analóg dipólus óriásrezonanciáról (AGDR) korábbi, kis energiájú (p,n) reakciók vizsgálata során már tettek említést. Tulajdonságait, bomlását azonban eddig még nem vizsgálták. 2011 őszén, a GSI-ben (Darmstadt) végzett kísérletünkben ezt az óriásrezonanciát a $p(^{124}\text{Sn},n)$ magreakcióban gerjesztettük 600 MeV/nukleon bombázó energiánál. Az AGDR γ -bomlását elsőként figyeltük meg a reakcióban keletkezett neutronokkal koincidenciában.

A kilépő neutronok energiájának és szögeloszlásának mérésére a Debrecenben kifejlesztett Low Energy Neutron Array (LENA) [<http://www.atomki.hu/muszerek/muszerek.html>] detektorrendszert használtuk. A γ -sugárzásokat pedig nagy térfogatú, modern LaBr_3 detektorokkal mértük, amik pontos energia- és határfok-hitelesítését szintén Debrecenben végeztük.

A jelenlegi legpontosabb, önkonzisztens proton-neutron relativisztikus véletlen fázisú közelítéssel (p-nRRPA) kiszámítottuk a γ -átmenet energiáját a neutronbőr-vastagság függvényében. A kísérleti és elméleti eredményeink összehasonlítása alapján az ^{124}Sn neutronbőr-vastagságára 0.18(2) fm értéket kaptunk. Az AGDR irodalmi energiája alapján, az ^{124}Sn -hez hasonló módon meghatároztuk az ^{208}Pb atommag neutronbőr vastagságát is, amire 0.18(2) fm értéket kaptunk. A kapott értékek jól egyeznek az irodalmi értékekkel, és ugyanakkor a jelenlegi legpontosabb értékeket képviselik. Ilyen módon lehetőséget adnak az állapotegyenlet (EoS) szimmetria-tagjának pontosítására. A módszerünk új lehetőségeket biztosít az egzotikus atommagok neutronbőr vastagságának meghatározására is.

Az AGDR gerjesztési energiájának, szélességének és erősségének szisztematikus vizsgálatát, széles nemzetközi együttműködésben, a magtérképen a Ca izotópoktól kezdve az Pb izotópokig tervezzük.

5. Egy rövid élettartamú bozon keresése magátmenetekben [13,15,35]

Napjaink fizikájának egyik alapvető kérdése, hogy milyen részecskék alkotják a csillagászok által bevezetett sötét anyagot, ami az Univerzum tömegének mintegy 35 %-át alkothatja. Egyes feltevések szerint a sötét anyag jelentős része kis tömegű részecskékből áll. Korábban F. W. N. de Boer és munkatársai, nagy szögterületen vizsgálva a ^8Be 17.6 MeV-es átmenete során keletkező elektronok és pozitronok korrelációját, szignifikáns eltérést találtak az IPC elmélettől, amit egy 9 MeV körüli részecske keletkezésével és elbomlásával

magyaráztak. Kísérletüket azonban mostanáig senkinek sem sikerült megismételnie.

A jelen OTKA pályázatban megtörtént az anomális belső párkeltéshez (IPC) használt kísérleti berendezés [<http://www.atomki.hu/muszerek/muszerek.html>] továbbfejlesztése, hatásfokának és megbízhatóságának javítása. A berendezéssel vizsgáltuk az ^{16}O 10.95 MeV-es $0^- \rightarrow 0^+$ átmenete során keletkező elektron-pozitron párok szögkorrelációját.

2009-ben, 5 hét gyorsító idő felhasználásával, 3 sikeres kísérletet végeztünk a ^8Be különböző magátmeneteiből származó e^+e^- párok szögkorrelációjának vizsgálatára. Az új részecske kimutathatósági határát az irodalmi adatokhoz képest kb. 1 nagyságrenddel sikerült csökkenteni. Eredményeink nem mondanak ellent egy $\sim 13 \text{ MeV}/c^2$ tömegű új részecske létezésének, amelynek a γ -átmenet során történő elágazási arányára $< 1 \cdot 10^{-5}$ értéket kaptunk. A kísérleti adatok magyarázata azonban egyszerűbb módon is lehetséges. A 17.64 MeV-es M1 átmenethez némi, direkt proton befogással keletkező, E1 átmenet hozzákeveredése is várható. Az M1 átmenetekhez 5%-os arányban E1-et keverve a kísérleti eredményeink szintén jól értelmezhetők. Mivel az elméleti előrejelzések egy izoskalár részecskére vonatkoznak, a fenti, főként izovektor átmeneteken ennek a részecskének a keltése nagymértékben tiltott. Az eredmények publikálása részben megtörtént. A munkából két diplomamunka is született (Tornyai Tamás 2009, Stuhl László 2010).

A ^8Be 18.15 MeV-es izoskalár ($J^\pi=1^+$) átmenetének M1 bomlásánál talált eltérések már egy izoskalár mértékboxon bomlására utalhatnak. Azonban ezen állapot gerjesztésének hatáskeresztmetszete sokkal kisebb, mint az előző átmeneté, így további, a jelenleginél még pontosabb mérések szükségesek a részecske egyértelmű kimutatására.

A program végrehajtásának folyamata F.W.N. de Boer 2010-es elhunytával (akivel közös kísérleteket végeztünk) némi törést szenvedett, de az újabb fejlesztésekkel ígéretesen folytatódik.

Osztályunkon, az ENSAR (FP7) program keretében, elkezdtük egy toroidális mágneses terű, kompakt, pozitron-elektron spektrométer (COPE) tervezését és megépítését. A spektrométer a CERN-ben lévő ATLAS detektor 1:100 arányú lekicsinyített mására fog hasonlítani. Ez a spektrométer jó hatásfokkal, jó energia és szögfeloldással kell, hogy rendelkezzen. Elképzeléseink szerint a közel 30 cm átmérőjű és 20 cm hosszú spektrométer energia-feloldása 1%, szögfeloldása 2° lesz. A tervezett spektrométer térszöge közel 2π . Egy olyan geometriát kellett kialakítani, amelyben a tér inhomogenitása könnyen kezelhető.

Magfizikai felhasználásra ilyen elektron-pozitron spektrométert még sohasem építettek, ezért a megépítést gondos számításokkal és szimulációkkal készítettük elő. A toroidális mágneses teret erős permanens mágnesekkel hozzuk létre. A mágneses térre vonatkozóan számításokat végeztünk, és a mágnesek elhelyezését optimalizáltuk. Az így létrehozott mágneses térben mozgó elektronok és pozitronok pályáira szimulációkat végeztünk. Ezen szimulációk eredményei alapján terveztük meg a mágnesek között elhelyezkedő detektorok (Time Projection Chamber (TPC)) felépítését.

A TPC detektorok elektromos tere a mágneses térre merőleges, ezért a pályasíkok az elektromos térrel első közelítésben párhuzamosak. A részecskepálya mentén keletkezett kis-energiás elektronok egyenletes sebességgel haladnak az anódok felé, ezért az időkések méréseivel a pályaszakaszok távolságai az anódoktól meghatározhatók. Elektron-sokszorozóként az anódok elé helyezett GEM (Gas Electron Multiplier) fóliák szolgálnak. A szegmentált anódokhoz kapcsolódó előerősítők jeleit közvetlenül digitalizáljuk, és

meghatározzuk a részecskecsomagok becsapódási idejét és töltését. Ezen adatokból rekonstruáljuk a nagy-energiás elektronok és pozitronok pályáit. A kiolvasó elektronika és szoftver tervezésére elég sok időt fordítottunk, mivel a rendelkezésre álló támogatás csak nagyon ötletes megoldások esetén elegendő a feladat maradéktalan megoldására.

6. Magfizika lézerekkel: a foto-hasadás vizsgálatok nagyintenzitású γ -nyalábokkal [56]

Hamarosan új lehetőségekkel gazdagodnak γ -sugárzásokkal végezhető magfizikai kísérletek, ami áttörést hozhat több más tudományágban is. Jelenleg két nagy-intenzitású (10^6 γ /s/eV) monokromatikus ($\Delta E/E < 10^{-3}$) γ -forrás építése folyik a világon. Az egyik a MEGa-ray berendezés a Lawrence Livermore Nemzeti Laborban, a másik az ELI-Nuclear Physics Bukarestben.

Ezen lehetőségeket elsőként tervezzük felhasználni az aktinoida-tartományba eső atommagok erősen deformált (szuper- és hiperdeformált) állapotainak pontosabb vizsgálatára, és a hasadási potenciál szerkezetének (minimumainak és maximumainak) pontosabb feltérképezésére.

A MEGa-ray (működése 2013-ban indul) és az ELI-NP (működése 2016-ban indul) berendezésekkel tervezett méréseink előkészítéséhez 2012 elején méréseket végeztünk a Duke Egyetem (USA) HigS berendezésénél. A nyaláb intenzitása 100 γ /eV/s a feloldása pedig $\Delta E/E \sim 3\%$ volt. A mérések célja az ^{238}U izotóp hasadási potenciáljának a korábbiaknál pontosabb feltérképezése volt. Az első mérőrendszer, amit a Duke Egyetem Hi γ S (High Intensity γ -Source) berendezésével történt méréseinkre újítottunk fel 23 db, 2 mg/cm² vastag, $^{238}\text{UO}_2$ céltárgyat tartalmaz, amelyeket szendvicsszerűen PPAC (Parallel Plate Avalanche Counter) detektorok fognak közre.

A háttér csökkentése érdekében megköveteltük, hogy az egyes céltárgyakat közrefogó detektorok egyszerre szólaljanak meg. A detektorokhoz kapcsolódó gázrendszert, elektronikát, és adatgyűjtő-rendszert Debrecenben fejlesztettük ki. Mérőrendszerünk a Duke Egyetemen végzett mérésünk során mindvégig jól működött.

A közelmúltban felújított OBELISK repülési idő (TOF) spektrométert, [<http://www.atomki.hu/muszerek/muszerek.html>] amely a hasadványok szög- és tömegeloszlásának pontos meghatározására képes, szintén a foto-indukált reakciók vizsgálatára szánjuk. Ebbe a spektrométerbe egyszerre csak egy céltárgy tehető, ezért eredményes használatához lényegesen nagyobb fluxusra (MEGAray, ELI-NP) van szükség. Kisnyomású gázdetektorokból épül fel, de ezek a detektorok sokszálas proporcionális számlálók. Segítségükkel a becsapódó hasadványok x,y koordinátái 1 mm pontossággal meghatározhatók. A detektorok ugyanakkor igen jó időzítési tulajdonságokkal (< 1 ns) is rendelkeznek, ami a TOF mérésekhez nélkülözhetetlen. A spektrométer 10 db ilyen detektorból épül fel, így a detektálás térszöge közel 4π . A detektorokhoz kapcsolódó elektronikát és adatgyűjtő rendszert ebben az esetben is az ATOMKI-ben fejlesztettük ki. A spektrométert először az ATOMKI ciklotron laboratóriumában töltött részecske nyaláb segítségével próbáltuk ki.

A Nuclear Research International következő számát a nukleáris fotonikának dedikálják. Nagy megtiszteltetésnek tartom, hogy engem is felkértek egy cikk írására a nagyintenzitású foton-nyalábokkal tervezett magfizikai méréseinkről.